
環境制御法を応用した資料保存

新 井 英 夫
見 城 敏 子

1. はじめに

人類は、地球に出現して以来、自らの創造活動と伝統による継承という手段を用いて、祖先の文化的所産を今日に伝え、さらに未来の文化を創造する母胎としてきた。その文化的所産は、太平洋戦争後には人類の文化的財産(cultural property)と考えるようになり、我が国では文化財という言葉が広く用いられるようになった。図書館資料は、世界各国が古くからその収集と保存に意を用いてきたところである。しかしながら、図書館資料の保存に科学者が関与している国は、少ないのではなかろうか。筆者らは、文化財保存科学の分野で各種の文化財の劣化要因の解明と保存方法について腐心している者である。我が国の文化財保存科学は、昭和8年に発足した古美術保存協議会が母体となって今日に至った分野で、その歴史も50年前後の比較的新しい学際的分野なのである。それだけに、手探りしながら研究を進めているのが現状である。

筆者らの図書館資料との出逢いは、書籍に発生した虫害及びカビの被害の防除に端を発した。すなわち、神宮文庫、宮内庁書陵部、東京大学史料編纂所等の依頼を受けて、書庫の生物被害調査を行ない被害状況の現状とその対策を具申した。その報告に基づいて現在進行中の生物被害防除対策として燻蒸法が実施され、今や全国に普及するに至った。燻蒸法は、現存する加害生物を一挙に殺滅し、しかも薬剤が残留しないので材質に対して安全という優れた長所のある反面、防虫防菌効果を長期間にわたって保て

ないという欠点を持っている。これをどのように解決するかが、問題として残されていた。数年前に、筆者の一人見城が、湿度の変化に敏速に応答する調湿紙を開発したので、密閉空間の一定湿度維持が簡便に行なえるようになった。そこで、筆者らは、二軸延伸ビニロンフィルムと調湿紙を応用し、図書館資料も含めた文化財の長期保存法として環境制御法を開発してきた⁽¹⁾⁽²⁾。本稿は、図書館で簡便に利用できるこの環境制御法を応用した資料保存の有効性を報告した。

2. 二軸延伸ビニロンフィルム

二軸延伸ビニロンフィルム (biaxially-oriented vinylon film, 以後BO-ビニロンフィルムと略記する) は、ポリエチレンフィルムやポリ塩化ビニルフィルムに比較して、ガス遮断性と防湿性の点で著しく改良されているので、筆者らは文化財の長期保存にBO-ビニロンフィルムを応用する可能性について検討した。

BO-ビニロンフィルムは、ガス遮断性のもっとも高い合成樹脂として知られているポリビニルアルコール樹脂を原料とし、これを同時に二軸方向に延伸することによって結晶の配向を緻密にしてガスの遮断性をさらに高めた厚さ15ミクロンのポリビニルアルコールフィルムを主体として構成されている。しかし、ポリビニルアルコール樹脂は、湿気を吸収する性質があるので、ポリビニルアルコールフィルムの両面を防湿性の高い合成樹脂のポリビニリデンフィルムで接着して、この欠点を改良したのがBO-ビニロンフィルムである。従って、BO-ビニロンフィルムは、ポリビニルアルコールフィルムとポリ塩化ビニリデンフィルムを貼り合わせた三層構造の厚さ75ミクロンの合成樹脂フィルムなのである (図1, 2)。

BO-ビニロンフィルムの性質をポリエチレンフィルムとポリ塩化ビニルフィルムの性質と比較して表1に示した。この表の酸素透過性と水蒸気透過性の項を見れば、厚さ25ミクロンのポリエチレンフィルムは、酸素透過性が $5300\text{cc}/\text{cm}^2\cdot 24\text{時間}$ 、水蒸気透過性が $16\sim 20\text{g}/\text{cm}^2\cdot 24\text{時間}$ であり、

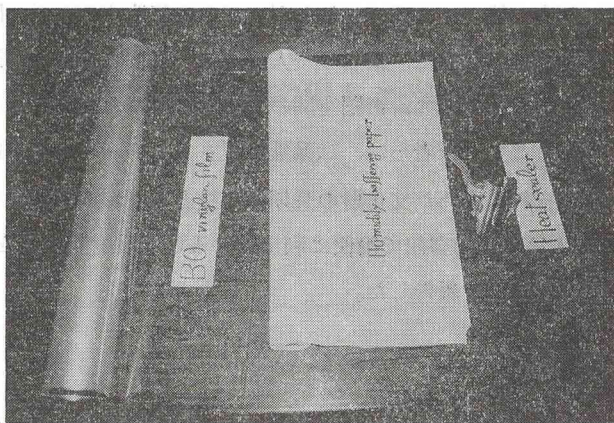


図1 二軸延伸ビニロンフィルム，調湿紙及びヒートシーラー

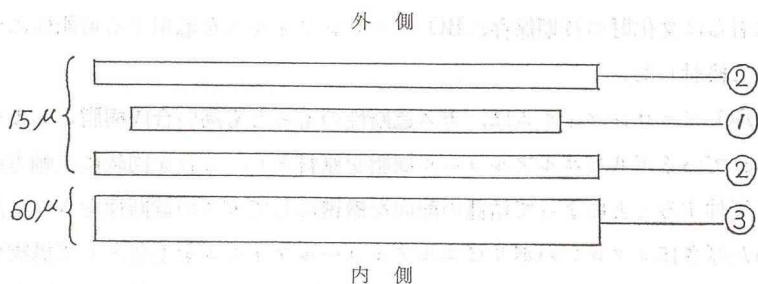


図2 二軸延伸ビニロンフィルムの構成

- ① ポリビニルアルコールフィルム（ガス遮断性）
- ② ポリ塩化ビニリデンフィルム（防湿性）
- ③ ポリプロピレンフィルム（加熱して接着）

厚さ25ミクロンのポリ塩化ビニルフィルムの前者が $110 \sim 460 \text{ cc/cm}^2 \cdot 24 \text{ 時間}$ と後者が $25 \sim 90 \text{ g/cm}^2 \cdot 24 \text{ 時間}$ である。これに対して，厚さ15ミクロンのBO-ビニロンフィルムは，前者が $0.5 \sim 2.0 \text{ cc/cm}^2 \cdot 24 \text{ 時間}$ ，後者が $6 \text{ g/cm}^2 \cdot 24 \text{ 時間}$ で，ガス遮断性と防湿性が著しく改良されていることがわかる。

表 1 二軸延伸ビニロンフィルムの性能

性 質	単 位	フィルムの種類		
		二軸延伸 ビニロン	ポリエチ レ ン	ポリ塩化 ビ ニ ル
厚 さ	μm	15	25	25
引 張 強 度	kg/cm^2	2,400~2,600	100~200	200~500
引 張 伸 度	%	65	150~650	10~300
ピンホール強度	g	1245	100	250
水蒸気透過量	$\text{g}/\text{cm}^2 \cdot 24\text{hr}$ 40°C, 90%RH	6	16~20	25~90
酸素ガス透過量	$\text{cc}/\text{cm}^2 \cdot 24\text{hr}$ 20°C, 0~100%RH	0.5~2	5,300	110~460

3. 湿度調節剤

登石・見城は、ニッカペレット（当初は科研ゲル）の湿度調節剤としての優れた性質について昭和31年以来研究している⁽³⁾⁽⁴⁾。すなわち、ニッカペレットは、外気温が10°Cから40°C、40°Cから10°Cに変化しても密閉空間内の相対湿度を一定に保つことができることを示した、これは、ニッカペレットが天然のゼオライトを特殊処理して製造し、アルミノシリカイオンの三次元の微細構造をもち、多数の微小孔を保有しているので、大量の水蒸気を吸放出できると考えられている。

例えば、密閉ケース中の相対湿度を60%に保ちたいときは、あらかじめ相対湿度を60%に調整したニッカペレットを1立方メートル中に1kg配置すれば、その密閉空間の相対湿度を外気温が10~40°Cに変化しても一定に保てるのである。

4. 調湿紙

見城は、和紙にゼオライトを漉き込んだ新しい調湿材を開発し、これを「調湿紙」と命名した⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾。調湿紙は、外気温の変化に対してニッカペレ

表2 糸状菌の生育に

供試 菌株	PH (%)	<div> <div>日数</div> <div>置換 ガス</div> </div>	1		2		3		4		5		6		7	
			N ₂ Ar		N ₂ Ar		N ₂ Ar		N ₂ Ar		N ₂ Ar		N ₂ Ar		N ₂ Ar	
		初発 O ₂ (%)														
<i>Aspergillus niger</i> IAM3001	55	20.4 (対照)	—		—		—		—		—		—		—	
		5.0	— —		— —		— —		— —		— —		— —		— —	
		1.0~2.0	— —		— —		— —		— —		— —		— —		— —	
		0.1~0.2	— —		— —		— —		— —		— —		— —		— —	
	70	20.4 (対照)	—		—		—		—		—		—		—	
		5.0	— —		— —		— —		— —		— —		— —		— —	
		1.0~2.0	— —		— —		— —		— —		— —		— —		— —	
		0.1~0.2	— —		— —		— —		— —		— —		— —		— —	
	86	20.4 (対照)	—		—		±		+		+		+		+	
		5.0	— —		— —		— —		± ±		+ +		+ +		+ +	
		1.0~2.0	— —		— —		— —		± ±		+ +		+ +		+ +	
		0.1~0.2	— —		— —		— —		± —		+ —		+ —		+ —	
<i>Eurotium tonophilum</i> strain KE	55	20.4 (対照)	—		—		—		—		—		—		—	
		5.0	— —		— —		— —		— —		— —		— —		— —	
		1.0~2.0	— —		— —		— —		— —		— —		— —		— —	
		0.1~0.2	— —		— —		— —		— —		— —		— —		— —	
	70	20.4 (対照)	—		—		—		—		—		—		—	
		5.0	— —		— —		— —		— —		— —		— —		— —	
		1.0~2.0	— —		— —		— —		— —		— —		— —		— —	
		0.1~0.2	— —		— —		— —		— —		— —		— —		— —	
	86	20.4 (対照)	—		—		+		+		+		+		+	
		5.0	— —		— —		+ +		+ +		+ +		+ +		+ +	
		1.0~2.0	— —		— —		+ ±		+ ±		+ +		+ +		+ +	
		0.1~0.2	— —		— —		— —		± —		+ —		+ —		+ ±	

対する湿度と酸素濃度の影響

8	9	10	～	15	～	20	～	26	～	30
N ₂ Ar	N ₂ Ar	N ₂ Ar		N ₂ Ar		N ₂ Ar		N ₂ Ar		N ₂ Ar
—	—	—		—		—		—		—
— —	— —	— —		— —		— —		— —		— —
— —	— —	— —		— —		— —		— —		— —
— —	— —	— —		— —		— —		— —		— —
—	—	—		—		—		—		—
— —	— —	— —		— —		— —		— —		— —
— —	— —	— —		— —		— —		— —		— —
— —	— —	— —		— —		— —		— —		— —
+	+	+		+		+		+		+
+	+	+		+		+		+		+
+	+	+		+		+		+		+
+	—	+		+		+		+		+
—	—	—		—		—		—		—
— —	— —	— —		— —		— —		— —		— —
— —	— —	— —		— —		— —		— —		— —
— —	— —	— —		— —		— —		— —		— —
—	—	—		+		+		+		+
— —	— —	— —		+		+		+		+
— —	— —	— —		+		+		+		+
— —	— —	— —		+		+		+		+
+	+	+		+		+		+		+
+	+	+		+		+		+		+
+	+	+		+		+		+		+
+	+	+		+		+		+		+

ットよりさらに迅速に応答することが実験的に証明されている。例えば、外気温が $10^{\circ}\text{C} \rightarrow 40^{\circ}\text{C}$ 及び $40^{\circ}\text{C} \rightarrow 10^{\circ}\text{C}$ に変化したとき、調湿紙と共に封入した密閉空間は、それぞれの温度で平衡に達している湿度の差が相対湿度で1%以内に止められる。従って、調湿紙と共に密封した空間は、外気温の急激な変化に対しても相対湿度は殆んど一定に保つことが可能となった。

さらに調湿紙は、もう一つ重要な用途をもっている。すなわち、漉き込んだゼオライトが、大気汚染を吸着する性質をもっている。従って、調湿紙は密閉空間の相対湿度を調整するばかりでなく、そこに存在するアルカリ粒子、溶剤、木材からの樹脂等空気中に飛散する汚染因子も除去できる。そして、調湿剤が紙の形態となったことにより、立体的にも容易に使えるようになったのである。

5. カビの生育試験⁸⁾

(1) カビの生育に対する酸素濃度の影響

文化財等の保存にBO-ビニロンフィルムの利用性を検討するために、黒色コウジカビ (*Aspergillus niger*) とユウロチウム菌 (*Eurotium tonophilum*) を麦芽汁寒天に接種してBO-ビニロンフィルム製の袋に入れ、初発酸素濃度を20.4% (対照)、5.0%、1.0~2.0%、0.1~0.2%に不活性ガスの窒素とアルゴンで調整して 25°C で培養し、供試菌株の生育の有無を観察した。

カビのコロニーの直径は、7日目まではいずれの酸素濃度でもほぼ同様な速さで生育した。しかし、7日目を過ぎると、酸素濃度が5.0%以下の環境では、供試菌株の生育速度は減退し、やがて定常状態に達した。カビの生育を酸素濃度で阻害するには、0.01%程度に保たねばならない。

(2) カビの生育に対する相対湿度、不活性ガス等の影響

黒色コウジカビとユウロチウム菌の胞子をゼラチン膜に接種して、相対

湿度55, 70, 86%と不活性ガスの窒素とアルゴンで初発酸素濃度を20.4% (対照), 5.0%, 1.0~2.0%, 0.1~0.2%に調整した環境を組合せて25°Cで30日間培養して比較検討し, その結果を表2に示した。

その結果は, 相対湿度86%のときは, いずれのカビも8~10日で十分に生育した。相対湿度70%になると, 黒色コウジカビは生育できないが, ユロチウム菌は15~26日目になると生育してきた。相対湿度55%では, いずれのカビも生育しない。

以上の結果を総括すると, カビの生育を制御するには, 酸素濃度の調節よりも, 相対湿度を55~70%に調整する方が効果的と結論される。また, 不活性ガスのアルゴンはカビの生育を阻害する顕著な効果を示さなかった。

6. 応 用

筆者らは, BO-ビニロンフィルムと調湿紙を利用する環境制御法によって, 文化財に発生するカビを効果的に制御できることを報告してきた。それは, この環境制御法が, カビの生育を防止する理想的な相対湿度の保存環境を, 必要に応じて何時でも何処でも, 簡便かつ安価に調製できるからである。以下に, 図書館に関連する例を示した。

- (1) 調湿紙とBO-ビニロンフィルムで密封した書籍 (図3)。
- (2) 宮内庁書陵部図書課は, 和・漢・洋の50万点の書籍を保存・管理している。その書庫は, 昭和3年に建築されて今日に及んでいるが, 最近雨漏り等建物のいたみがひどく, 東書庫の改築が決まった (図4)。このとき, 書庫内の書籍は, 新しい書庫が完成するまで一時的に空調設備のない富士見櫓 (図5) に移動しなければならなかった。書陵部図書課は, 富士見櫓に移動して保存する書籍をBO-ビニロンフィルムとニッカペレット, 調湿紙で密閉する環境制御法を検討して (図6), この方法を採用する方針を決定して実行した (図7, 8)。

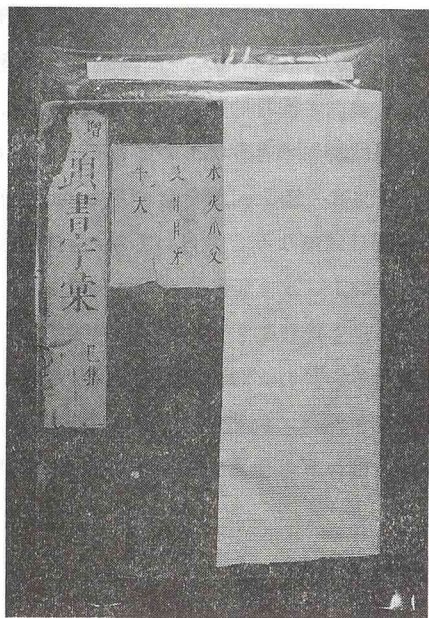


図 3 環境制御法を応用した
書籍保存の一例

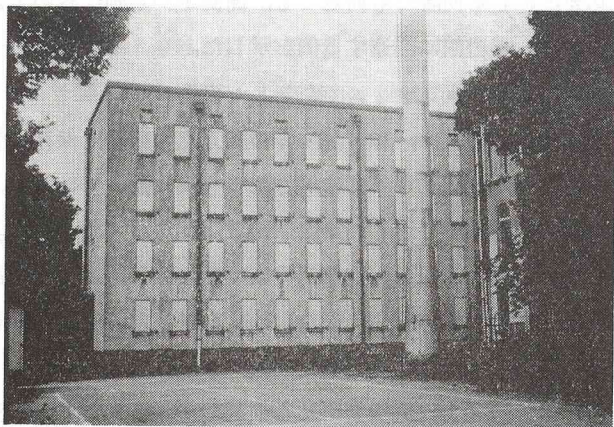


図 4 宮内庁書陵部東書庫全景

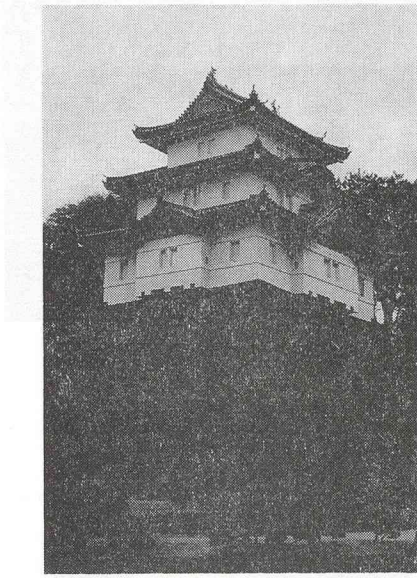


図5 富士見櫓

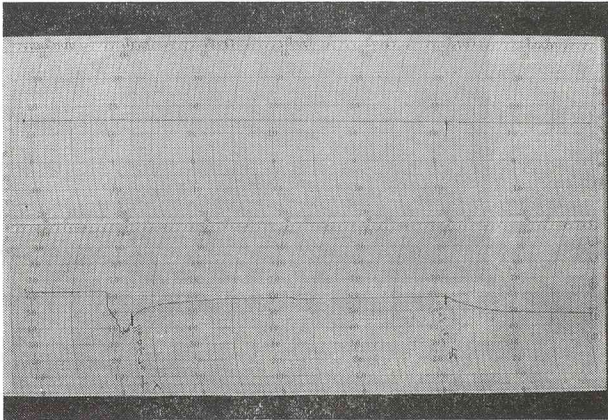


図6 二軸延伸ビニロンフィルムとニッカペレットで
密封したダンボール箱内部の温湿度経過の一部

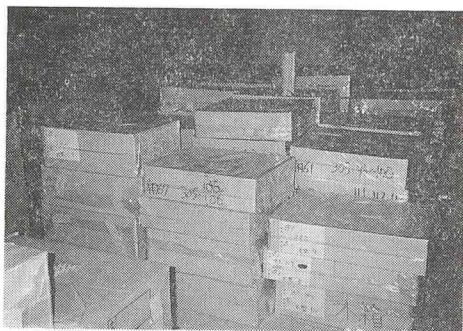


図7 環境制御法で一時保管中の書籍

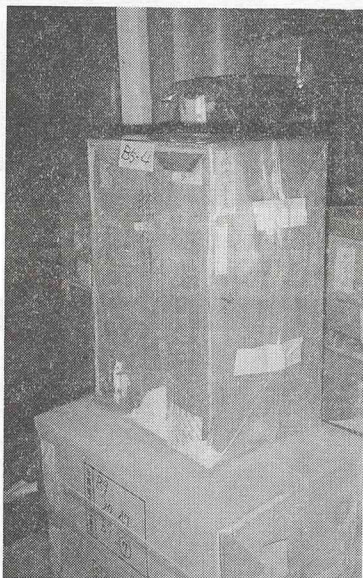


図8 環境制御法で一時保管中の書籍

7. おわりに

図書館における資料保存という観点から、本稿では環境制御法を紹介した。この一文が、図書館資料の保存に役立つことを期待したい。

図書館の資料保存に関連しては、その他に酸性紙の問題がある。我が国でこの問題に注意を喚起したのは金谷博雄氏（昭和57年）であった⁽⁹⁾が、その後酸性紙の保存処理方法を具体化する気配が認められなかった。筆者らは、文化財の燻蒸法を研究した経験から、酸性紙本の中和は、気体で処理する方法を採用すべきと考えていた。そこで、浅学を省みず米国議会図書館の開発したジエチル亜鉛による中和方法を同図書館保存研究部部長の了解を得て、我が国での実用化の可能性に検討を加えたのであった⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾。また、書籍や絵画に発生するフォクシングもやはり書籍の劣化現象の一つである。筆者らのフォクシングの保存科学的研究は、現時点では国外の研究に一步先んじているが⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾、我々の分野もまた人員や予算が十分ではなく、まごまごしている間に先を越される可能性もなしとしない。我が国は、図書館も博物館・美術館もそれぞれ収蔵品の保存と修復を科学するという分野が地味であるために、人員と予算の配分を受けにくい状態にある。これを打開するには、文化に造詣の深い政治家が現われるまで待たねばならないのかと嘆息することが多い。

図書館においては、近年になってようやく書籍保存の問題が取り上げられるようになったのではなからうか。我が国の図書館行政は、図書館に司書はいるが書籍の劣化を防ぐ科学的対策に腐心する職員を配置していないところに問題がある。つまり、書籍は利用するものという観念が先行し、書籍そのものに代替品が存在せず、唯一冊となった場合には文化財と考えて保存しなければならなくなることを忘れてるように思われる。とにかく、気がついたら「過っては則ち改むるに憚ること勿れ」である。書籍の保存を科学する態勢の整備が、一日も早く具体化されることを切望する次第である。

本稿を終るにあたって、資料を提供して下さった宮内庁書陵部図書課の森県氏、櫛笥節男氏、中村一紀氏に深甚の謝意を表します。

参考文献

- (1) 新井英夫・森八郎：文化財の長期保存に関する研究（第1報）、(1)同時2軸

- 延伸ポリビニルアルコールフィルム製袋の文化財生物劣化防止への応用, 古文化財の科学, **25**, 89-102 (1980)
- (2) 新井英夫・見城敏子・森八郎: 同上, (第2報) 2軸延伸ビニロンフィルム
の出土遺物等への応用, 保存科学, **22**, 39-45 (1983)
- (3) 登石健三・見城敏子: 密閉梱包の湿度調節, 古文化財の科学, **12**, 28-36
(1956)
- (4) 見城敏子: 湿度調節剤に関する研究 (第1報) 省エネルギーの為の湿度調節
剤について, 保存科学, **20**, 1-4 (1981)
- (5) Kenjo, T., A Rapid-Response Humidity Buffer Composed of Nikka
Pellets and Japanese Tissue, Studies in Conservation, **27**, 19-24 (1982)
- (6) 見城敏子: 文化財の保存① 先人たちの知恵に現代の技術を生かして,
Better Storage, **102**(7), 4-7 (1988)
- (7) 見城敏子: 文化財の保存② 文化財保存のための調湿紙の利用, Better
Storage, **103**(9), 4-7 (1988)
- (8) 新井英夫: 文化財における防菌・防黴, 「防菌防黴ハンドブック」, pp. 421-
425, 博報堂 1986
- (9) 金谷博雄: 本を残す一用紙の酸性問題資料集, かなや工房, 1982年12月
- (10) 新井英夫・森八郎: 酸性紙の中和について (第1報) ジェチル亜鉛法の追試,
保存科学, **25**, 55-61 (1986)
- (11) 新井英夫・森八郎・井上市郎・宮地宏幸・石木田欣也: 同 上, (第2報) ジ
ェチル亜鉛による上質紙の中和処理条件, 文化財の虫菌害, **11**, 3-9 (1986)
- (12) 宮地宏幸・石木田欣也・井上市郎・新井英夫・森八郎: 同 上, (第3報) ジェ
チル亜鉛による雑誌類の中和処理条件と装置, 文化財の虫菌害, **13**, 14-18
(1987)
- (13) 宮地宏幸・石木田欣也・井上市郎・小林清作・新井英夫・森八郎: 同 上,
(第4報) ジェチル亜鉛による書籍類の中和処理と紙質の強度変化並びに保存
性, 文化財の虫菌害, **16**, 34-38 (1988)
- (14) 新井英夫: 紙質類文化財の保存に関する微生物学的研究, (第1報) 紙の褐
色斑 (foxing) から糸状菌の分離, 保存科学, **23**, 33-39 (1984)
- (15) 新井英夫: 同上, (第5報) Foxing から分離した糸状菌の生理的・形態学的
性質, foxing 形成機構および防除対策について, 保存科学, **26**, 43-52 (1987)
- (16) 新井英夫: 絵画や本の褐色斑点の正体は?, 青淵, **471**, 28-30 (1988)
- (17) 対談 飯沢匡のひょっこり訪問 第164回, 紙につく茶色の斑点の原因をつ
きとめた新井英夫さん, 赤旗日曜版1989年4月30日

(あ ら い ひでお 東京国立文化財研究所)
(けんじょう としこ 東京国立文化財研究所)